В. К. Лабутин

ТРАНЗИСТОРЫ



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

СПРАВОЧНАЯ СЕРИЯ

Выпуск 449

В. К. ЛАБУТИН

ТРАНЗИСТОРЫ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1962 ЛЕНИНГРАД

Брошюра содержит справочные данные по транзисторам отечественного производства. Даны краткие пояснения к приводимым в таблицах параметрам и важнейшие сведения по правилам эксплуатации транзисторов. В заключение приводятся краткие справочные данные для некоторых типов зарубежных транзисторов.

Предназначена для радиолюбителей-конструкторов.

6Ф2.13 *Лабутин Вадим Константинович*
Л12 **Транзисторы.** М.—Л., Госэнергоиздат, 1962.
32 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека, Вып. 449)
6Ф2.13

Редактор *Ф. И. Тарасов* Техн. редактор *Н. И. Борунов*
Обложка художника А. М. Кувшинникова

Сдано в набор 31/I 1962 г. Подписано к печати 23/VII 1962 г.
Т-07756 Бумага $84 \times 108^1/_{32}$ 1,64 печ. л. Уч.-изд. л. 2
Тираж 100 000 экз. Цена 8 коп. Зак. 2069

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.
Отпечатано в типографии «Московский рабочий».
Москва, Петровка, 17. Зак. 947.

Классификация транзисторов

По областям применения или назначению транзисторы разделяются на следующие основные группы: маломощные низкочастотные, маломощные высокочастотные, быстродействующие переключающие, мощные низкочастотные, мощные переключающие и мощные высокочастотные. Такая классификация транзисторов в значительной мере условна и зачастую один и тот же транзистор может применяться, например, в предварительных и оконечных каскадах усилителя низкой частоты, в переключающих схемах и высокочастотных усилителях или генераторах.

По исходному полупроводниковому материалу выпускаемые в настоящее время транзисторы делятся на германиевые и кремниевые. Транзисторы, изготовленные на основе кремния, допускают работу при температурах до 120—150° С, в то время как у германиевых транзисторов наивысшая рабочая температура не превышает 70—85° С.

Существуют транзисторы двух структур *p-n-p* и *n-p-n*, отличающихся противоположными полярностями питающих напряжений. Это обстоятельство позволяет упростить построение ряда схем, например, построить двухтактный усилитель без фазоинвертора. Транзисторы, обладающие одинаковыми параметрами, но имеющие противоположную структуру, часто называют транзисторами с дополнительной симметрией.

По принципу изготовления различают целый ряд конструктивно-технологических разновидностей транзисторов. Упомянем наиболее известные из них.

Точечные транзисторы (рис. 1,*а*) состояли из пластинки монокристаллического германия с прижатыми к ней двумя металлическими иглами. Ввиду низкой стабильности и плохой воспроизводимости электрических характеристик выпуск точечных транзисторов прекращен. В отличие от выпускаемых теперь плоскостных точечные транзисторы обдадают коэффициентом усиления по току в схеме с общей базой (см. ниже) более единицы (до 3). Это позволяло реализовывать с помощью точечных транзисторов ряд оригинальных схем (мультивибратор на одном транзисторе, двусторонний усилитель и др.), которые требуют применения двух плоскостных транзисторов. Таким образом, механическая замена точечного транзистора одним плоскостным не всегда возможна.

Все нижеследующие конструктивно-технологические разновидности являются плоскостными транзисторами, у которых *p-n*-пере-

ходы образованы плоскостями, находящимися в объеме полупроводника.

Сплавные транзисторы (рис. 1,*б*) изготавливаются путем вплавления двух капель примесного вещества с противоположных сторон пластинки исходного полупроводника. Таким методом удается получать в основном низкочастотные транзисторы малой и большой мощности.

Поверхностно-барьерные транзисторы (рис. 1,*в*). Электролитическим методом осаждаются тонкие слои электродного материала в лунки, предварительно вытравленные с двух сторон пластинки исходного полупроводника. Поверхностно-барьерные транзисторы отличаются довольно широким диапазоном рабочих частот (до нескольких десятков мегагерц), малой рассеиваемой мощностью и весьма низкой электрической прочностью. Даже кратковременный импульс тока в несколько десятков миллиампер или напряжения более 5—7 *в* (такие импульсы могут возникать при подаче питания или включении транзистора в схему, находящуюся под напряжением) часто приводят к гибели транзистора.

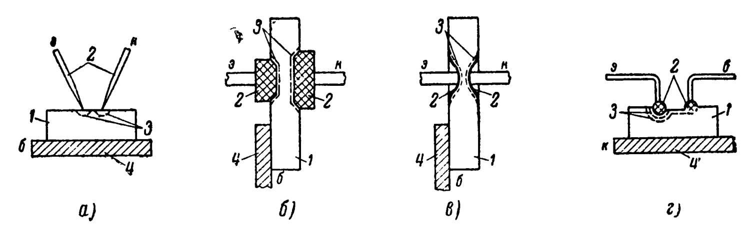


Рис. 1. Устройство транзисторов различных типов.
а — точечного; *б* — сплавного; *в* — поверхностно-барьерного; *г* — диффузионно-сплавного.
1 — кристалл; *2* — электроды; *3* — *p-n*-переходы; *4* — кристаллодержатель; *э* — эмиттер; *б* — база; *к* — коллектор.

Диффузионные транзисторы. Наиболее высокочастотные транзисторы, в том числе мощные высокочастотные, изготовляются путем использования явления диффузии (проникновения) одних веществ в другие. В настоящее время существует ряд практических вариантов диффузионной технологии, позволяющих хорошо контролировать введение примесей в пластинку исходного полупроводника и тем самым строго выдерживать необходимую для высокочастотных транзисторов геометрию *p-n*-переходов. Наряду с прекрасными высокочастотными характеристиками у диффузионных транзисторов, как правило, получается низковольтный эмиттерный *p-n*-переход, не допускающий приложения к нему больших обратных напряжений. Это обстоятельство ограничивает применение диффузионных транзисторов в некоторых переключающих схемах.

Кроме перечисленных способов классификации транзисторов, иногда пользуются такими определениями, как, например, высоковольтные транзисторы, низкошумящие и т. п., которые отражают характерное отличие транзисторов по какому-либо специфическому параметру.

Существующая в настоящее время система обозначения типов транзисторов предусматривает построение марки транзистора из

трех элементов. Первый элемент — буква П (для плоскостных транзисторов) или С (для точечных). Второй элемент обозначения образуется порядковым номером типа транзистора. Присвоение номера типа производится в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

Второй элемент обозначения типов транзисторов

Низкочастотные транзисторы				Высокочастотные транзисторы		
Маломощные		Мощные		Маломощные		Мощные
Германиевые	Кремниевые	Германиевые	Кремниевые	Германиевые	Кремниевые	
1—100	101—200	201—300	301—400	401—500	501—600	601 ...

Исключения составляют марки П3 и П4, которые присвоены мощным низкочастотным транзисторам. Третий элемент обозначения может образовывать буква (А, Б, В и т. д.), отличающая разновидности транзисторов одного типа (подтипы).

В настоящей брошюре приводятся справочные данные по наиболее распространенным типам транзисторов отечественного производства (табл. 2).

Для того чтобы облегчить ориентировку в вопросах возможной замены устаревших типов транзисторов новыми, в справочные таблицы включены также некоторые типы транзисторов, снятых с производства. Такие транзисторы отмечены в табл. 2 звездочкой.

Электрические характеристики транзисторов

Статические характеристики выражают зависимость между токами и напряжениями, действующими в цепях различных электродов транзистора. Применяются главным образом для расчета каскадов, работающих при большом сигнале. В связи с этим ниже на рис. 2, 3, 4 и 5 приводятся статические характеристики только для мощных транзисторов при включении их наиболее распространенным способом — по схеме с общим эмиттером. При этом входные характеристики показывают зависимость тока базы от приложенного к электродам база — эмиттер напряжения. Эти характеристики слабо зависят от напряжения коллектора, если оно превышает несколько десятых долей вольта. Входная же характеристика, соответствующая нулевому напряжению между коллектором и эмиттером, существенно отличается.

Выходные характеристики для схемы с общим эмиттером представлены в форме зависимости тока коллектора от напряжения коллектор — эмиттер при нескольких постоянных значениях тока базы.

Для различных экземпляров транзисторов одного и того же типа входные характеристики отличаются сравнительно мало.

Таблица 2

Сводная таблица типов транзисторов

Транзисторы	Германиевые			Кремниевые плоскостные	
	Точечные (*p-n-p*)	Плоскостные			
		p-n-p	*n-p-n*	*p-n-p*	*n-p-n*
Маломощные низкочастотные ($P \leqslant 300$ *мвт*, $f_\alpha \leqslant 2$ *Мгц*)	С1А, Б, В, Г* С2А, Б* С3А, Б, В, Г* С4А, Б*	П1А, Б, В, Г, Е, Ж, И* П2А, Б* П5А, Б, В П6А, Б, В, Г* П7 П13, П13А П14 П15 П25, П25А, Б П26, П26А, Б	П8 П9 П10 П11	П104 П105 П106	П101 П102 П103
Низкошумящие ($F_ш \leqslant 18$ *дб*)		П1Д* П5Г, Д П6Д* П13Б	П9А		П101А
Маломощные высокочастотные ($f_\alpha \geqslant 5$ *Мгц*)	С1Д, Е* С2В, Г* С3Д, Е* С4В, Г*	П12 П19 П401 П402 П403, П403А П404, П404А П405, П405А П406 П407 П408 П409 П410, П410А П411, П411А			
Мощные низкочастотные ($P \geqslant 1$ *вт*)		П3А, Б, В* П4А, Б, В, Г, Д П201, П201А П202 П203 П207, П207А П208, П208А П209, П209А П210, П210А			
Переключающие		П16, П16А, Б			

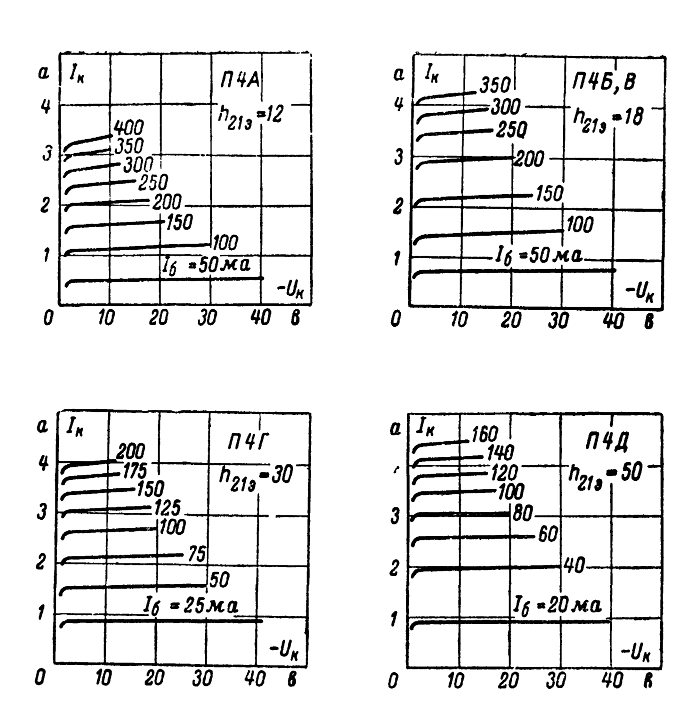


Рис. 2. Типичные семейства статических выходных характеристики в схеме с общим эмиттером транзисторов типов П4А—Д.

В то же время выходные характеристики транзистора в схеме с общим эмиттером сильно зависят от свойственного данному экземпляру значения коэффициента усиления по току $h_{21э}$ (см. ниже), разброс по которому у современных транзисторов достаточно

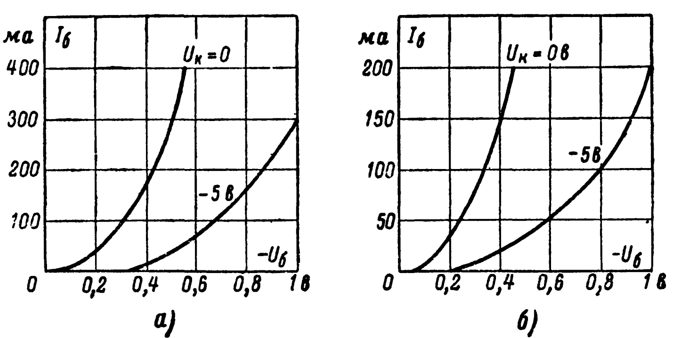
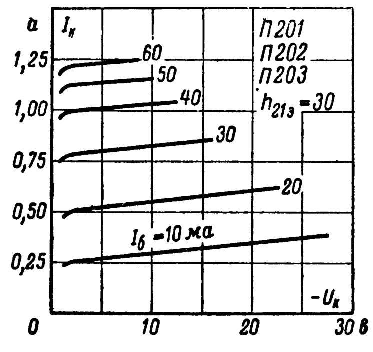


Рис. 3. Типичные входные статические характеристики в схеме с общим эмиттером транзисторов типов П4А—Д.
а — при $h_{21э}=10—20$; *б* — при $h_{21э}=30—50$.



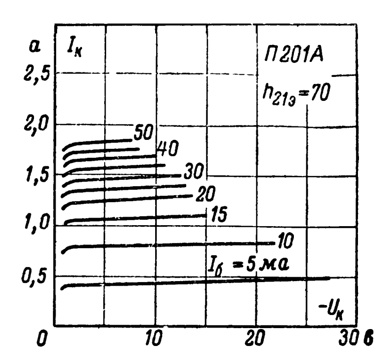


Рис. 4. Типичные семейства выходных статических характеристик в схеме с общим эмиттером транзисторов типов П201—203.

велик. В связи с этим для приводимых семейств выходных характеристик указан не только тип транзистора, но и значение $h_{21э}$. Применяя транзистор с иным значением $h_{21э}$, лучше пользоваться семейством характеристик другого подтипа транзистора, но соответствующим данному значению $h_{21э}$.

Низкочастотные малосигнальные параметры характеризуют электрические свойства транзистора при усилении малых низкочастотных сигналов. Наиболее распространена система смешанных («гибридных») малосигнальных параметров, основанная на замене транзистора эквивалентным четырехполюсником (рис. 6,*а*). Эта система параметров состоит из следующих четырех величин:

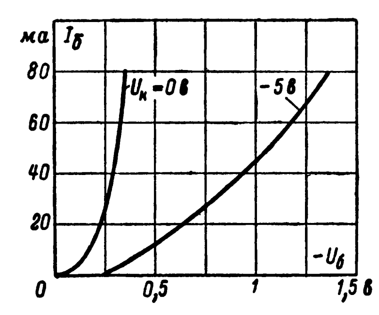


Рис. 5. Типичные входные статические характеристики в схеме с общим эмиттером транзисторов типов П201—203.

h_{11}— входное сопротивление при коротком замыкании на выходе;

h_{12}— коэффициент обратной связи по напряжению при холостом ходе на входе;

h_{21}— коэффициент усиления по току при коротком замыкании на выходе;

h_{22}— выходная проводимость при холостом ходе на входе.

Под коротким замыканием здесь понимается очень низкое, а под холостым ходом очень высокое сопротивление данной цепи для токов низкочастотного сигнала. При измерении параметров такие режимы создаются при помощи блокировочных конденсаторов и заграждающих дросселей, причем на электроды транзисторов подаются постоянные напряжения и токи, определяющие рабочую точку. Измеренные значения малосигнальных параметров одного и того же транзистора зависят от выбранной рабочей точки и от схемы включения транзистора. Значения параметров для схемы

с общей базой отмечаются дополнительным индексом «б», например $h_{22б}$, а для схемы с общим эмиттером — индексом «э», например $h_{21э}$. Для коэффициентов усиления по току $h_{21б}$ и $h_{21э}$ часто применяются специальные обозначения: $\alpha = -h_{21б}$ и $\beta = h_{21э}$.

Значения h-параметров позволяют рассчитывать напряжения и токи усиливаемого сигнала в цепях транзистора при помощи двух уравнений:

$$u_1 = h_{11} i_1 + h_{12} u_2;$$
$$i_2 = h_{21} i_1 + h_{22} u_2,$$

где обозначения токов и напряжений соответствуют символам на рис. 6.

Для некоторых транзисторов указывают параметры Т-образной эквивалентной схемы (рис. 6,*б*), где $r_э$ — сопротивление эмиттера;

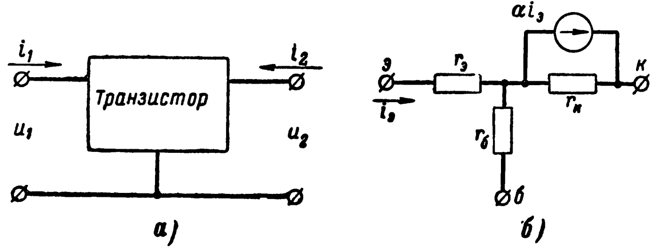


Рис. 6. Представление транзистора в форме эквивалентного четырехполюсника (*а*) и при помощи Т-образной эквивалентной схемы (*б*).

$r_б$ — сопротивление базы; $r_к$ — сопротивление коллектора и α — коэффициент усиления по току.

Обе системы параметров равнозначны, и всегда возможен переход от одной системы к другой. Отметим, в частности, что

$$r_к = \frac{1}{h_{22б}}.$$

Шумфактор $F_ш$ — коэффициент, показывающий, во сколько раз ухудшается отношение сигнал/шум при усилении сигнала данным транзистором. Шумфактор выражается в децибелах. Низкие значения его необходимы для транзисторов, применяемых в первых каскадах высокочувствительных усилителей.

Высокочастотные параметры транзистора. Граничная частота коэффициента усиления по току в схеме с общей базой f_α — частота, на которой величина α снижается до 0,7 своего низкочастотного значения. Поскольку у плоскостных транзисторов на низких частотах α близок к единице, для них f_α определяют как частоту, на которой $\alpha = 0{,}7$. Обычно эффективная работа транзисторов возможна на частотах ниже f_α.

Емкость коллектора $C_к$ — емкость коллекторного *p-n*-перехода при обратном смещении.

Высокочастотное сопротивление базы $r_{б'}$ — сопротивление обратной связи в схеме с общей базой, измеренное на достаточно высокой частоте, причем $r_{б'} \neq r_б$ (обычно $r_{б'}$ в несколько раз меньше низкочастотного параметра $r_б$).

Величины $r_{б'}$ и $C_к$ ограничивают усиление транзистора на высоких частотах и во многие расчетные формулы входят в виде произведения $r_{б'}C_к$. В связи с этим для некоторых транзисторов указывается непосредственно величина произведения $r_{б'}C_к$, которое имеет размерность времени и часто именуется „постоянной времени обратной связи".

У наиболее высокочастотных транзисторов непосредственное измерение параметра f_α становится затруднительным, и тогда прибегают к измерению максимальной частоты генерирования $f_{макс}$ — наиболее высокой частоты, на которой можно добиться генерации. Это означает также, что частота $f_{макс}$ одновременно характеризует собой частотный предел действия транзистора и в качестве усилителя, ибо генерация возможна до тех пор, пока транзистор усиливает мощность.

Между параметрами f_α и $f_{макс}$ существует определенная связь. Обычно считают, что

$$f_{макс} = \sqrt{\frac{f_\alpha}{30 r_{б'} C_к}},$$

где $f_{макс}$ получается в тысячах мегагерц, если f_α подставлено в мегагерцах, $r_{б'}$ — в омах, а $C_к$ — в пикофарадах.

Для характеристики частотного предела транзисторов, изготовленных по диффузионной технологии, вместо f_α и $f_{макс}$ иногда указывают предельную частоту усиления по току в схеме с общим эмиттером f_1 — частоту, на которой коэффициент усиления по току в схеме с общим эмиттером $h_{21э}$ уменьшается до единицы.

Ввиду того что в области достаточно высоких частот модуль (абсолютное значение) параметра $h_{21э}$ обратно пропорционален частоте, ради упрощения измерений часто определяют не величину f_1, а значение $|h_{21э}|$ на определенной частоте f. При этом

$$f_1 = |h_{21э}| f.$$

Обратные и начальные токи. Обратный (или нулевой) ток коллектора $I_{к.о}$ — ток, проходящий через коллекторный *p-n*-переход при приложении к нему обратного напряжения и отключенном выводе эмиттера ($I_э = 0$).

Обратный (или нулевой) ток эмиттера $I_{э.о}$ — то же для эмиттерного *p-n*-перехода при $I_к = 0$.

Токи $I_{к.о}$ и $I_{э.о}$ характеризуют качество *p-n*-переходов транзистора; знание их необходимо для расчета стабильности рабочей точки транзистора, особенно при повышенных температурах, когда эти токи сильно возрастают (при повышении температуры на каждые 10° С обратные токи увеличиваются примерно вдвое).

Начальный ток коллектора $I_{к.н}$ — постоянный ток в цепи коллектора при обратном напряжении, когда эмиттер соединен с базой

накоротко или через оговоренное сопротивление. Характеризует возможность устойчивой работы транзистора в некоторых схемах при большом сигнале.

Параметры транзистора в режиме большого сигнала. Средняя крутизна характеристики S показывает отношение приращения тока коллектора к вызвавшему его изменению напряжения на эмиттерном переходе. Указывается главным образом для мощных усилительных транзисторов в форме динамического параметра, измеряемого при определенном нагрузочном сопротивлении в цепи коллектора.

Коэффициент усиления по постоянному току B (для схемы с общим эмиттером) — отношение постоянного тока коллектора к вызвавшему его постоянному току, введенному в цепь базы транзистора.

Остаточное напряжение или напряжение насыщения коллектора $U_{\text{к.нас}}$ — небольшое остаточное напряжение на промежутке коллектор—эмиттер в режиме насыщения, когда при данном токе базы величина тока коллектора ограничена нагрузочным сопротивлением и оказывается меньше, чем $B\ I_{\text{б}}$.

Наряду с параметром $U_{\text{к.нас}}$ иногда оговаривают величину сопротивления насыщения коллектора $r_{\text{к.нас}}$. Если значение $U_{\text{к.нас}}$ измерено при токе коллектора $I_{\text{к.нас}}$, то

$$r_{\text{к.нас}} = \frac{U_{\text{к.нас}}}{I_{\text{к.нас}}}.$$

Таким образом $r_{\text{к.нас}}$ является сопротивлением промежутка коллектор — эмиттер для постоянного тока в режиме насыщения.

Параметры B, $U_{\text{к.нас}}$ и $r_{\text{к.нас}}$ характеризуют поведение транзистора в переключающих схемах.

Коэффициент усиления по мощности K_p. Для ряда типов транзисторов указывается непосредственно коэффициент усиления по мощности, обеспечиваемый транзистором в определенной схеме усилителя. Величину этого коэффициента указывают в децибелах. В приводимых ниже справочных таблицах указывается величина K_p в схеме низкочастотного усилителя с особо оговариваемыми значениями сопротивления нагрузки $R_{\text{н}}$ и генератора (источника сигнала) $R_{\text{г}}$.

Максимальное значение K_p приобретает при включении транзистора по схеме с общим эмиттером.

Знание этого параметра особенно полезно для мощных транзисторов, применяемых в оконечных каскадах.

При испытаниях транзисторов требуют, чтобы заданное значение K_p обеспечивалось при ограниченных нелинейных искажениях (обычно не более 15%).

Предельно допустимые эксплуатационные данные сообщаются для ограничения реальных режимов применения транзисторов в целях предотвращения их преждевременного выхода из строя Ограничения накладываются на мощность, рассеиваемую прибором, на обратные напряжения, прикладываемые к коллекторному и эмиттерному переходам, на диапазон рабочих температур окружающей среды или корпуса транзистора и на максимальные значения токов в цепях электродов.

Мощность, рассеиваемая транзистором, в общем случае складывается из мощностей, рассеиваемых каждым *р-п*-переходом:

$$P = P_к + P_э = I_к U_к + I_э U_э,$$

где напряжения коллектора $U_к$ и эмиттера $U_э$ отсчитаны относительно базы.

В усилительном режиме у плоскостных транзисторов $I_к \approx I_э$, таким образом

$$P \approx I_к (U_к + U_э) \approx I_э (U_к + U_э),$$

и поскольку обычно $U_э \ll U_к$, то часто можно считать:

$$P \approx P_к = I_к U_к.$$

Эта мощность нагревает транзистор и тем сильнее, чем хуже теплоотвод. В связи с этим при повышении температуры среды или корпуса во избежание внутреннего перегрева транзистора рассеиваемая им мощность должна снижаться. Необходимое снижение мощности рассчитывается по формуле

$$P_{доп} = \frac{T_{к.доп} - T}{R_т},$$

где $R_т$ — так называемое тепловое сопротивление транзистора, характеризующее теплоотвод от коллектора к корпусу или к окружающей среде;

$T_{к.доп}$ — максимальная допустимая температура коллектора;

T — температура корпуса или окружающей среды (в соответствии с условиями определения $R_т$).

Различают максимальные допустимые токи в режимах усиления и переключения (в последнем случае они зачастую бывают значительно больше).

Максимальные допустимые напряжения на коллекторе могут существенно зависеть от схемы включения транзистора и от величины сопротивления постоянному току в цепи базы.

Наибольшее обратное напряжение можно прикладывать к коллекторному переходу, если цепь эмиттера отключена или имеет очень большое сопротивление для постоянного тока (единицы — десятки килоом). Допустимое в этом случае напряжение обозначается символом $U_{к.доп}$. По мере повышения температуры величина $U_{к.доп}$ обычно понижается и при наивысшей допустимой температуре коллекторного *р-п* перехода ($T_{к.доп}$) у большинства транзисторов падает вдвое.

Наименьшего значения допустимое напряжение коллектора приобретает в случае, когда оно прикладывается относительно эмиттера и цепь базы отключена или обладает высоким сопротивлением для постоянного тока (единицы — десятки килоом). Это напряжение принято обозначать $U_{к.э.доп}$. Величина $U_{к.э.доп}$ также снижается при повышении температуры, достигая при максимальной температуре половинного значения.

Если зажимы эмиттер — база замкнуты по постоянному току накоротко или между ними включена цепь с небольшим сопротивлением, то допустимое напряжение между коллектором и эмиттером в общем случае имеет промежуточное между $U_{к.доп}$ и $U_{к.э.доп}$ значение.

Для повышения надежности работы как самого транзистора, так и схемы, в которой он применен, особенно при повышенной температуре, всегда целесообразно строить цепь база—эмиттер таким образом, чтобы ее сопротивление для постоянного тока было по возможности небольшим (не более единиц килоом).

Указания по применению транзисторов

Выбор типов транзисторов для различных каскадов. В маломощных (предварительных) каскадах усиления низкой частоты практически могут применяться маломощные транзисторы любых типов. Лишь в первом каскаде высокочувствительных усилителей рекомендуется применять транзисторы с малыми шумами. Если усиление первого каскада мало, то низкошумящий транзистор может потребоваться и во втором каскаде. Для снижения собственных шумов транзисторов полезно ставить их в облегченный режим (ток эмиттера порядка 0,3 *ма* и напряжение коллектора 1—2 *в*). При замене одного типа транзистора другим в усилителе низкой частоты целесообразно применять транзистор со значением h_{21} не ниже, чем у заменяемого. При недостаточных мерах стабилизации рабочей точки может потребоваться индивидуальный подбор сопротивления в цепи базы для установки необходимого тока коллектора.

Кремниевые транзисторы в своей массе обладают худшими электрическими характеристиками, чем германиевые, а потому их применение оправдано лишь в случае работы при особенно высокой температуре (выше 70° С) или при необходимости иметь особенно малые начальные токи.

Для резонансных усилителей высокой или промежуточной частоты и высокочастотных генераторов целесообразно применять транзисторы, у которых значение f_α по крайней мере в 3—5 раз, а $f_{макс}$ — в 2—3 раза превышает наивысшую рабочую частоту каскада. В высокочастотных каскадах, как правило, полезно работать с возможно более высоким напряжением коллектора, что содействует повышению усиления и стабильности как усиления, так и настройки. Однако чрезмерно высокое напряжение коллектора может привести к росту шумов высокочастотного усилителя.

При замене транзисторов в высокочастотных схемах в первую очередь надо обращать внимание на значения параметров f_α (или $f_{макс}$), $r_{б'}$ и $C_к$. Следует иметь в виду, что замена транзистора в налаженной схеме другим, даже превосходящим первый по всем параметрам, может потребовать подстройки колебательных контуров и подбора вновь элементов нейтрализующей цепочки, без чего возможно резкое ухудшение работы каскада и даже самовозбуждение.

В мощных низкочастотных усилителях во избежание сильных нелинейных искажений необходимо применять транзисторы с возможно более слабо выраженной зависимостью коэффициента усиления от тока (при больших токах значения h_{21} и B заметно уменьшаются). Взаимозамена транзисторов в таких усилителях возможна в рамках родственных подтипов или за счет применения транзисторов, рассчитанных на бо́льшую мощность, чем заменяемый. При этом следует обращать внимание на значения параметров B или S. Для двухтактных усилителей целесообразно подбирать пары транзисторов с близкими значениями этих параметров.

В маломощных переключающих (импульсных) схемах при невысоких требованиях к быстродействию могут применяться транзисторы любых типов, удовлетворяющие требованиям схемы к минимальному значению коэффициента усиления по току. В быстродействующих переключающих схемах хорошо работают высокочастотные сплавные и поверхностно-барьерные транзисторы, а в отсутствие больших импульсов обратного напряжения на эмиттерном переходе — и диффузионные.

Для переключающих схем с непосредственной связью, применяемых для построения некоторых типов цифровых вычислительных устройств, наиболее подходящими считаются поверхностно-барьерные транзисторы.

В мощных переключающих и регулирующих схемах, в том числе преобразователях постоянного тока, стабилизаторах напряжения, усилителях синхронно-следящих систем и т. п., находят применение те же типы транзисторов, что и в мощных низкочастотных усилителях, причем довольно часто требование к слабой зависимости B от тока становится не столь существенным.

Замену транзисторов устаревших типов можно производить, руководствуясь рекомендациями табл. 3.

Таблица 3

Рекомендуемая замена транзисторов устаревших типов

Старый тип транзистора	Новый тип транзистора	Старый тип транзистора	Новый тип транзистора
П1А, Б, В, Е	П13	П2Б	П25*
П1Г	П13А	П3А, Б, В	П202, П203**
П1Д	П13Б	П6А, Б	П13
П1Ж	П14	П6В	П14
П1И	П15	П6Г	П13А
П2А	П26[1]	П6Д	П13Б

* При условии, что рассеиваемая транзистором мощность не превышает 200 *мвт*.

** При данной замене транзисторы П202 и П203 могут применяться без дополнительного теплоотвода.

При любых заменах транзистора одного типа другим необходимо следить за тем, чтобы предельно допустимые режимы вновь выбранного типа транзистора допускали его применение в данном каскаде.

Простейшие способы проверки транзисторов. Целость и качество *p-n*-переходов транзистора можно оценить проверкой прохождения тока через каждый из переходов в прямом направлении (например, с помощью тестера или омметра, причем, однако, ток не должен превышать допустимое для данного транзистора значение) и измерением обратного тока с помощью подходящего микроамперметра (при этом обратное напряжение также не должно превышать допустимое для данного *p-n*-перехода значение). Обратный ток должен быть в пределах норм (см. справочные таблицы). При такой проверке надо соблюдать правильную полярность

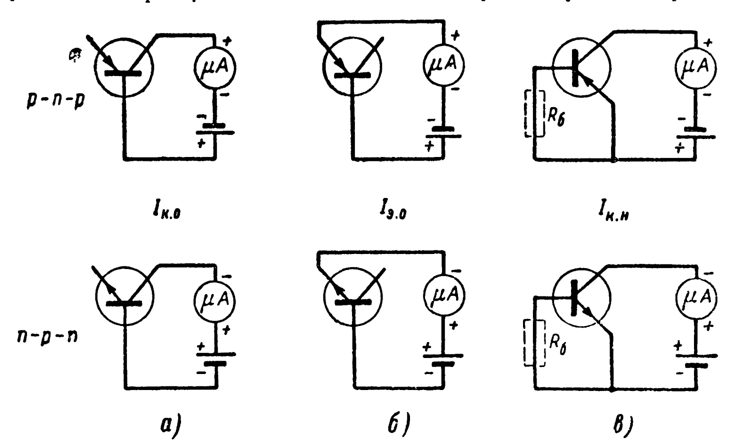


Рис. 7. Схемы измерения обратных (нулевых) токов коллектора (*а*), то же эмиттера (*б*) и начального тока коллектора (*в*). Верхние схемы — для транзисторов структуры *p-n-p*, нижние — *n-p-n*.

источника тока в соответствии со структурой проверяемого транзистора (рис. 7).

Оценку коэффициента усиления по току в схеме с общим эмиттером проще всего произвести при помощи схемы, приведенной на рис. 8.

Коэффициент усиления по току приближенно рассчитывается по формуле

$$h_{21э} \approx \frac{I_к R}{E},$$

где E — напряжение источника питания (не менее 2—3 *в*).

Снять зависимость коэффициента усиления по току от тока коллектора можно путем многократных измерений $h_{21э}$ при различных значениях R.

Во избежание повреждения транзистора начинать измерение надо с большим сопротивлением R (порядка 200—500 *ком*), постепенно уменьшая его, если ток коллектора оказывается малым.

Важнейшие правила эксплуатации транзисторов. Для предотвращения механических повреждений транзисторов следует осто-

рожно обращаться с их выводами, не подвергать выводы многократным перегибам, избегать острых углов перегиба, производить изгиб выводов лишь на расстоянии не менее нескольких миллиметров от основания транзистора. Хотя транзисторы в целом обладают высокой механической прочностью, все же их следует оберегать от падения с большой высоты. При эксплуатации в условиях вибраций (на транспорте) транзисторы всех типов необходимо прочно крепить за корпус.

Наиболее опасным для транзисторов является воздействие высокой температуры (выше 100° С для германиевых и выше 150—200° С для кремниевых). Поэтому необходимы определенные предосторожности при впаивании транзисторов в схему и при работе паяльником вблизи вмонтированных транзисторов. Подпаивать выводы транзисторов надо быстро (в течение 2—3 *сек*) на возможно большем расстоянии от корпуса. Полезно применять низкотемпературные припои и маломощные паяльники. При невозможности выполнить эти рекомендации во время пайки выводов между припаиваемой точкой и корпусом транзистора надо создавать теплоотвод, например пережимать припаиваемый вывод губками плоскогубцев, причем отпускать плоскогубцы надо лишь после остывания места пайки.

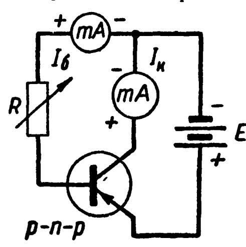


Рис. 8. Простейшая схема измерения коэффициента усиления по току. В случае транзистора структуры *n-p-n* полярности источника питания (*E*) и миллиамперметров обратные.

Не менее опасен перегрев транзистора во время работы, который может произойти в результате расположения транзистора вблизи других нагревающихся элементов (ламп, трансформаторов и т. п.) или за счет собственного тепловыделения транзистора. Конструируя аппаратуру с транзисторами, следует продумывать условия общего теплообмена разрабатываемого прибора с внешней средой, предусматривать отверстия для выхода теплого воздуха из корпуса прибора (эти меры особенно нужны в приборах с больших суммарным потреблением мощности).

Нормальная работа мощных транзисторов, как правило, требует применения дополнительных теплоотводов. В качестве теплоотвода могут применяться металлические пластины (из красной меди или алюминия), металлические шасси, на которых крепятся транзисторы, или специальные радиаторы, надеваемые на транзисторы. Теплоотвод зависит от общей поверхности радиатора, поэтому для экономии места выгодно делать радиаторы ребристыми. Высокая эффективность всех теплоотводящих элементов достигается только при условии, что между соприкасающимися поверхностями корпуса транзистора и теплоотвода нет воздушных прослоек. Эти части поверхностей часто полируют.

Ввиду того что у большинства транзисторов с корпусом непосредственно соединяется один из электродов, часто приходится вводить электрическую изоляцию корпуса от теплоотводящего элемента. Для того чтобы при этом не слишком ухудшать теплоотвод, в качестве изоляционной прокладки используют тончайший листок слюды.

Чем больше мощность, рассеиваемая транзистором в данной схеме, и чем выше температура окружающей среды, тем совершеннее должен быть теплоотвод. На рис. 9 для некоторых типов транзисторов приведены графики для определения общей поверхности радиаторов. Следует помнить, что у многих типов транзисторов при повышенной температуре снижается не только допустимая мощность, но и допустимые напряжения.

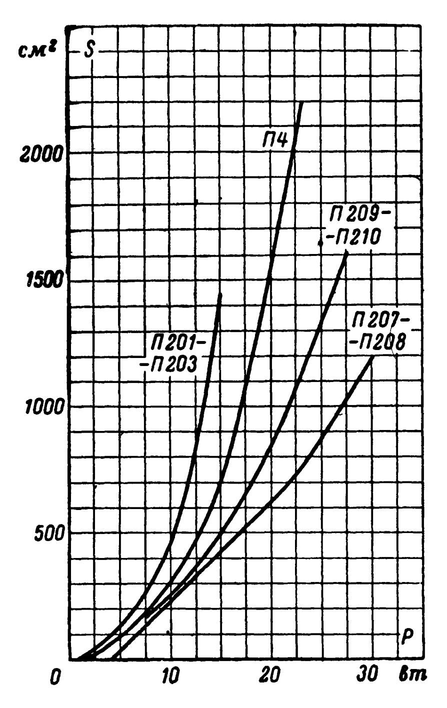


Рис. 9. График для определения необходимой поверхности радиатора S (с двух сторон) в зависимости от мощности P, рассеиваемой мощными транзисторами, при температуре окружающего воздуха +25° С.

Причиной выхода транзисторов из строя может также быть кратковременная перегрузка импульсом большого напряжения или тока. Прежде всего при монтаже транзисторов и налаживании схем с транзисторами надо проверять изоляцию корпуса паяльника от его нагревательного элемента. Далее, всякие перепайки в монтаже, подключения и замены отдельных деталей следует производить при снятом со схемы питании. Большую опасность представляет отключение вывода базы транзистора при наличии питания, подключение эмиттера к цепи с заряженным конденсатором. При необходимости присоединения транзистора в схему, находящуюся под напряжением, в первую очередь надо присоединять базу, затем эмиттер и в последнюю очередь коллектор. Отключение транзистора без снятия напряжений производится в обратной последовательности.

Опасные для сохранности транзисторов импульсы могут возникать в неудачно спроектированных схемах в результате переходных процессов при подаче и снятии питания, а также при различных переключениях в схеме. Ради повышения надежности работы аппаратуры с транзисторами после изготовления каждого аппарата или макета очень полезно проверить экспериментально при помощи электронного осциллографа отсутствие опасных перенапряжений и всплесков тока в цепях транзисторов при любых возможных коммутациях органов управления и при включении и выключении питания.

В целях повышения надежности не рекомендуется применять транзисторы в режимах, сочетающих максимально допустимые мощ-

ности, напряжения и температуру, а также вводить в цепь базы высокоомные сопротивления.

Справочные таблицы электрических параметров транзисторов

Условные обозначения параметров

B — коэффициент усиления по постоянному току в схеме с общим эмиттером.

$C_к$ — емкость коллектора.

f_α — граничная частота усиления по току в схеме с общей базой.

$f_{макс}$ — максимальная частота генерации.

$F_ш$ — шумфактор на частоте 1 000 *гц*.

$h_{12б}$, $h_{21б}$, $h_{22б}$ — низкочастотные значения малосигнальных параметров (см. стр. 8).

$I_к$ — ток коллектора.

$I_{к.доп}$ — то же, максимально допустимый в режиме усиления.

$I_{к.имп}$ — то же, максимально допустимый в режиме переключения.

$I_{к.н}$ — начальный ток коллектора (при $U_{б.э} = 0$).

$I_{к.о}$ — обратный ток коллектора (при $I_э = 0$).

$I_э$ — ток эмиттера.

K_p — коэффициент усиления по мощности.

$P_{вых}$ — выходная мощность усилителя.

$P_{доп}(T)$ — максимально допустимая мощность, рассеиваемая транзистором без дополнительного теплоотвода при температуре окружающей среды не выше $T°$ С.

$P_{доп}(T_0)$ — то же с дополнительным теплоотводом при температуре оболочки транзистора не выше $T_0°$ С.

$r_б$ — сопротивление базы низкочастотное.

$r_{б'}$ — то же высокочастотное.

$R_г$ — сопротивление генератора.

$R_н$ — сопротивление нагрузки.

$R_т$ — тепловое сопротивление конструкции транзистора относительно воздуха.

$R_{т.о}$ — то же относительно оболочки транзистора.

$S_д$ — динамическая крутизна характеристики усиления.

$T_{к.доп}$ — низшая и высшая допустимые температуры коллектора.

$U_к$ — напряжение коллектор—база.

$U_{к.доп}(T)$ — то же максимально допустимое при температуре не выше $T°$ С.

$U_{к\text{-}э.доп}$ — максимально допустимое напряжение коллектор—эмиттер

$U_{к.нас}$ — остаточное напряжение между коллектором и эмиттером в режиме насыщения.

$U_{э.доп}$ — максимально допустимое напряжение эмиттер—база.

Сокращенные обозначения классов транзисторов

С — сплавной.
ДС — диффузионно-сплавной.
ПБ — поверхностно-барьерный.
Ge — германиевый.
Si — кремниевый.
p-n-p, *n-p-n* — структура транзистора.

Ниже в табл. 4—6 указаны нормы на значения электрических параметров транзисторов. Ввиду существенного разброса электрических характеристик и совершенствования производства транзисторов реальные значения параметров зачастую оказываются значительно лучше указываемых в таблицах.

В ряде случаев в таблицах указаны типичные значения параметров, не нормируемых действующими техническими условиями. Значения таких параметров взяты в скобки.

Конструктивные чертежи и цоколевка транзисторов показаны на рис. 10.

В табл. 7 приведены предельно допустимые режимы применения транзисторов отечественного производства.

В заключение (табл. 8) даются данные некоторых типов транзисторов зарубежного производства. Следует иметь в виду, что если для отечественных транзисторов приводятся гарантированные значения параметров (т. е. наихудшие из реально возможных), причем их типичные значения бывают значительно лучше, то зарубежные фирмы чаще всего публикуют типичные (т. е. средние) значения параметров, причем до половины транзисторов данного типа могут обладать худшими характеристиками.

Ввиду большого разброса значений коэффициента усиления по току у транзисторов одного и того же типа некоторые зарубежные фирмы наносят на корпуса транзисторов цветные метки для указания пределов, в которых лежит значение параметра $h_{21э}$ данного экземпляра. При этом используется международный цветовой код:

Цвет	*Условная цифра*	*Значение* $h_{21э}$
черный	0	—
коричневый	1	—
красный	2	20 . . . 30
оранжевый	3	30 . . . 40
желтый	4	40 . . . 50
зеленый	5	50 . . . 60
синий	6	60 . . . 75
фиолетовый	7	75 . . . 100
серый	8	—
белый	9	$\geqslant 100$

Таблица 4

Электрические параметры маломощных низкочастотных плоскостных транзисторов

Обозначение транзистора	Класс	Режим измерения		Электрические параметры										Конструкция (рис. 10)
		$U_к$, *в*	$I_э$, *ма*	$I_{к.о}$, *мка*	$h_{21б}$	$h_{22б}$, *мкмо*	$h_{12б}$	$r_б$, *ом*	K_p, *дб*	$F^2_ш$, *дб*	f_α, *Мгц*	$C_к$, *пф*	$r_{б'}$, *ом*	
П1А	С Ge *p-n-p*	—10	1	≤30	≥0,9	≤3,3	—	—	≥30	—	≥0,1	—	—	*А*
П1Б				≤30	≥0,93	≤2	—	≤400	≥33	≤35	≥0,1	—	—	
П1В				≤15	0,93—0,97	≤1	—	≤400	≥37	≤35	≥0,1	—	—	
П1Г				≤30	≥0,96	≤2	—	≤600	≥37	—	≥0,1	—	—	
П1Д				≤15	≥0,94	≤2	—	≤600	≥33	≤18	≥0,1	—	—	
П1Е				≤30	≥0,94	≤3,3	—	≤1 000	≥30	≤35	≥0,5	≤60	≤150	
П1Ж				≤20	≥0,95	≤2	—	≤1 200	≥35	≤35	≥1	≤45	≤150	
П1И				≤20	≥0,96	≤2	—	≤1 200	≥30	≤35	≥1,6	≤40	≤150	
П2А	То же	—50	5	≤200[3]	≥0,9[5]	—	—	—	≥17	—	—	—	—	*А*
П2Б		—25	10	≤200[4]	≥0,9[5]	—	—	—	≥17	—	—	—	—	
П5А	То же	—2	1	≤30	≥0,93	≤3,3	($3\cdot10^{-4}$	—	—	(12)	≥0,3	(60)	—	*Б*
П5Б				≤15	≥0,95	≤2,6	($3\cdot10^{-4}$)	—	—	(12)	≥0,3	(60)	—	
П5В				≤15	0,97—0,995	≤2,6	($3\cdot10^{-4}$)	—	—	(15)	≥0,3	(60)	—	
П5Г				≤30	0,97—0,995	≤2,6	($3\cdot10^{-4}$)	—	—	≤18	≥0,3	(60)	—	
П5Д				≤30	0,95—0,975	≤2,6	($3\cdot10^{-4}$)	—	—	≤10	≥0,3	(60)	—	
П6А	То же	—5	1	≤30	≥0,9	≤3,3	≤$5\cdot10^{-3}$	—	—	—	≥0,1	≤50	—	*В*
П6Б				≤15	≥0,9	≤2	≤$6\cdot10^{-4}$	—	—	≤33	≥0,5	≤50	—	
П6В				≤15	≥0,94	≤2	≤$6\cdot10^{-4}$	—	—	≤33	≥0,5	≤50	—	
П6Г				≤15	≥0,97	≤3,3	≤$6\cdot10^{-4}$	—	—	≤33	≥1	≤50	—	

П6Д		—5	1	⩽15	⩾0,9	⩽2	⩽$6\cdot10^{-4}$	—	—	⩽12	⩾0,5	⩽50	—	
П7	То же	—2	1	⩽30	0,97—0,995	—	—	—	—	—	—	—	—	*Б*
П8 П9 П9А П10 П11	C Ge *n-p-n*	5	1	⩽30 ⩽15 ⩽15 ⩽15 ⩽15	⩾0,9 0,9—0,95 ⩾0,92 ⩾0,95 ⩾0,95	⩽3,3 ⩽2 ⩽2 ⩽3,3 ⩽3,3	⩽$5\cdot10^{-3}$ ⩽$6\cdot10^{-4}$ ⩽$6\cdot10^{-4}$ ⩽$6\cdot10^{-4}$ ⩽$6\cdot10^{-4}$	— — — — —	(36) (36) (36) (35) (35)	(15) (12) ⩽12 (12) (12)	⩾0,1 ⩾0,5 ⩾0,5 ⩾1 ⩾1,6	⩽65 ⩽60 ⩽60 ⩽60 ⩽60	— — — — —	*В*
П13 П13А П13Б П14 П15	C Ge *p-n-p*	—5	1	⩽15 ⩽15 ⩽10 ⩽15 ⩽15	⩾0,92 ⩾0,97 ⩾0,92 ⩾0,95 ⩾0,95	⩽3,3 ⩽2 ⩽2 ⩽3,3 ⩽3,3	⩽$5\cdot10^{-4}$ ⩽$6\cdot10^{-4}$ ⩽$6\cdot10^{-4}$ — —	— — — — —	— — — — —	⩽33 ⩽33 ⩽12 ⩽33 ⩽33	⩾0,5 ⩾0,5 ⩾0,5 ⩾1 ⩾2	⩽50 ⩽50 ⩽50 ⩽50 ⩽50	— — — ⩽150 ⩽150	*В*
П16 П16А П16Б	То же	—5	1	⩽25[6] ⩽25[6] ⩽25[6]	20—35[7] 30—50[7] 45—100[7]	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	⩾1 ⩾1 ⩾1	— — —	— — —	*В*
П25 П25А П25Б П26 П26А П26Б	То же	—20 —20 —20 —35 —35 —35	2,5 2,5 2,5 1,5 1,5 1,5	⩽200[8] ⩽200[8] ⩽200[8] ⩽200[9] ⩽200[9] ⩽200[9]	10—25[10] 20—50[10] ⩾30[10] 10—25[10] 20—50[10] ⩾30[10]	⩽3,5 ⩽3,5 ⩽3,5 ⩽3,5 ⩽3,5 ⩽3,5	— — — — — —	⩽500 ⩽500 ⩽500 ⩽500 ⩽500 ⩽500	— — — — — —	— — — — — —	⩾0,2 ⩾0,2 ⩾0,2 ⩽0,2 ⩾0,2 ⩾0,2	⩽70 ⩽70 ⩽70 ⩽50 ⩽50 ⩽50	⩽100 ⩽100 ⩽100 ⩽100 ⩽100 ⩽100	*В*

Продолжение табл. 4

Обозначение транзистора	Класс	Режим измерения $U_к$, *в*	Режим измерения $I_э$, *ма*	Электрические параметры $I_{к.о}$, *мка*	$h_{21б}$	$h_{22б}$, *мкмо*	$h_{12б}$	$r_б$, *ом*	K_p^1, *дб*	$F_ш^2$, *дб*	$f_α$, *Мгц*	$C_к$, *пф*	$r_б'$, *ом*	Конструкция (рис. 10)
П101	C			(0,1)	⩾0,9	⩽3,3	$(5\cdot10^{-4})$	—	—	—	⩾0,2	(100)	—	
П101А	Si	5	1	(0,1)	⩾0,9	⩽3,3	$(5\cdot10^{-4})$	—	—	⩽18	⩾0,2	(100)	—	В
П102	*n-p-n*			(0,1)	⩾0,93	⩽2	$(1\cdot10^{-3})$	—	—	—	⩾0,5	(100)	—	
П103				(0,1)	⩾0,9	⩽3,3	$(5\cdot10^{-4})$	—	—	—	⩾1	(100)	—	
П104	C			(0,1)	⩾0,9	⩽3,3	—	(200)	—	—	⩾0,1	(55)	—	
П105	Si	—5	1	(0,1)	⩾0,9	⩽3,3	—	(200)	—	—	⩾0,1	(55)	—	В
П106	*p-n-p*			(0,1)	⩾0,93	⩽2	—	(200)	—	—	⩾0,5	(55)	—	

[1] Для типов П1 и П8—П11—в схеме с общим эмиттером при $R_г$= 600 *ом* и $R_н$= 30 *ком*; для типов П2—в схеме с общей базой при выходной мощности 100 *мвт*, коэффициенте нелинейных искажений не более 15%, $R_г$= 100 *ом* и $R_н$= 10 *ком* (П2А) или $R_г$= 25 *ом* и $R_н$= 2,5 *ком* (П2Б).

[2] В схеме с общим эмиттером на частоте 1 000 *гц* при $R_г$= 600 *ом*; для типов П5 $U_к$= 1 *в* и $I_э$=0,2 *ма*, а для всех остальных $U_к$= 1,5 *в* и $I_э$= 0,5 *ма*.

[3] При $U_к$= —100 *в*.

[4] При $U_к$= —50 *в*.

[5] При $U_к$= —10 *в* и $I_э$= 1 *ма*.

[6] Ток коллектора запертого триода при $U_к$= —15 *в* и $U_б$= +1,5 *в*.

[7] Величина B при $U_к$= —1 *в* и $I_к$=10 *ма*.

[8] Величина $I_{к.н}$ при U = —60 *в*.

[9] Величина $I_{к.н}$ при $U_к$= —100 *в*.

[10] Величина $h_{21э}$.

Электрические параметры маломощных высокочастотных транзисторов

Обозначение транзистора	Класс	Режим измерения		Электрические параметры								Конструкция (рис. 10)
		$U_к$, *в*	$I_э$, *ма*	$I_{к.о}$, *мка*	$h_{21б}$	$h_{22б}$, *мкмо*	$f_α$, *Мгц*	$f_{макс}$, *Мгц*	$С_к$, *пф*	$r_{б'}$, *ом*	$r_{б'}С_к$, *нсек*	
П12	С Ge *p-n-p*	—6	1	≤6	≥0,95	≤2	≥5	—	≤20	≤150	—	*Г*
П406				≤6	≥0,95	≤2	≥10	—	≤20	≤150	—	
П407				≤6	≥0,95	≤2	≥20	—	≤20	≤150	—	
П19	То же	—5	1	≤6	≥0,95	≤2	≥5	—	≤20	≤150	≤2 500	*Д*
П408				≤6	≥0,95	≤2	≥10	—	≤20	≤150	≤2 500	
П409				≤6	≥0,95	≤2	≥20	—	≤20	≤150	≤3 000	
П401	ДС Ge *p-n-p*	—5	5	≤10	≥0,94	≤5	—	≥30	≤15	—	≤3 500	*Е*
П402				≤5	≥0,94	≤5	—	≥60	≤10	—	≤1 000	
П403				≤5	0,94—0,97	≤5	—	≥120	≤10	—	≤500	
П403А				≤5	≥0,97	≤5	—	≥120	≤10	—	≤500	
П404	ПБ Ge *p-n-p*	—3	0,5	≤5	≥0,93	≤6,7	(≥10)	≥20	(≤5)	—	≤1 700	*Ж*
П404А				≤2	≥0,93	≤6,7	(≥10)	≥20	(≤5)	—	≤1 700	
П405				≤5	≥0,95	≤6,7	(≥20)	≥30	(≤5)	—	≤1 500	
П405А				≤2	≥0,95	≤6,7	(≥20)	≥30	(≤5)	—	≤1 500	
П410	ДС Ge *p-n-p*	—5	5	≤2	0,965—0,99	≤10	—	≥200	≤4	—	≤300	*З*
П410А				≤2	0,99—0,996	≤10	—	≥200	≤4	—	≤300	
П411				≤2	0,965—0,99	≤10	—	≥400	≤4	—	≤200	
П411А				≤2	0,99—0,996	≤10	—	≥400	≤4	—	≤200	

Таблица 6

Электрические параметры мощных низкочастотных транзисторов[1]

Обозначение транзистора	В схеме усилителя мощности класса А, включение с общим эмиттером							Электрические параметры				Конструкция (рис. 10)
	$U_{к}$, *в*	$I_{к}$, *а*	$R_{г}$, *ом*	$R_{н}$, *ом*	$P_{вых}$, *вт*	K^2_p, *дб*	S, *а/в*	$h^3_{21э}$	$U^3_{к.нас}$, *в*	$I_{к.о}$ ($U_{к}$), *ма* (*в*)	$I_{к.н}$ ($U_{к}$), *ма* (*в*)	
П3А	—25	0,13	5	220	1	≥17	—	≥2	—	≤10(—50)	—	*И*
П3Б						≥20	—	≥2	—	≤10(—50)	—	
П3В						≥25	—	≥2	—	≤10(—50)	—	
П4А	—26	1	15	25	10	≥20	—	≥5	—	≤0,5(—10)	≤50(—50)	*К*
П4Б						≥23	—	15—40	≤0,5	≤0,4(—10)	≤20(—60)	
П4В						≥20	—	≥10	≤0,5	≤0,4(—10)	≤20(—35)	
П4Г						≥27	—	15—30	≤0,5	≤0,4(—10)	≤20(—50)	
П4Д						≥30	—	≥30	—	≤0,4(—10)	≤20(—50)	
П201	—15	0,34	40	45	2,5	(25)	—	≥20	≤0,5	≤0,4(—20)	≤5(—30)	*Л*
П201А	—15	0,34	40	45	2,5	(25)	—	≥40	≤0,5	≤0,4(—20)	≤5(—30)	
П-202	—22	0,24	40	100	2,5	(25)	—	≥20	≤0,5	≤0,4(—30)	≤5(—45)	
П203	—28	—	20[4]	36[4]	10[4]	(20)[4]	1,2—1,8	≥20	≤0,5	≤0,4(—30)	≤5(—60)	

П207			—	—	—	—	11—20	≥15	0,5—1	≤16(—45)	≤10(—40)	
П207А	—2	10	—	—	—	—	≥18	17—40	≤0,6	≤16(—45)	≤10(—40)	*М*
П208			—	—	—	—	11—20	≥15	0,5—1	≤25(—65)	≤16(—60)	
П208А			—	—	—	—	≥18	≥15	≤0,6	≤25(—65)	≤16(—60)	
П209			—	—	—	—	5,5—10	≥15	0,5—1	≤8(—45)	≤5(—40)	
П209А	—2	5	—	—	—	—	≥9	≥15	≤0,6	≤8(—45)	≤5(—40)	*Н*
П210			—	—	—	—	5,5—10	≥15	0,5—1	≤12(—65)	≤8(—60)	
П210А			—	—	—	—	≥9	≥15	≤0,6	≤12(—65)	≤8(—60)	

[1] Все транзисторы сплавные германиевые структуры *p-n-p*.
[2] При коэффициенте нелинейных искажений не более 10% для типов П4Б, В, Г, Д и не более 15% для остальных типов.
[3] Режим измерения параметров $h_{21э}$ и $U_{к.нас}$ следующий:

Тип транзистора	$h_{21э}$		$U_{к.нас}$	
	$U_к$, *в*	$I_к$, *а*	$I_к$, *а*	$I_б$, *а*
П3А—В	—10	0,15	—	—
П4А—Д	—10	2	2	0,3
П201—203	—20	0,1	1	0,1
П207—208	—2	10	10	1
П209—210	—2	5	5	0,5

Для транзисторов типов П207—210 в графе $h_{21э}$ указана величина *В*.
[4] В схеме двухтактного усилителя мощности класса В.

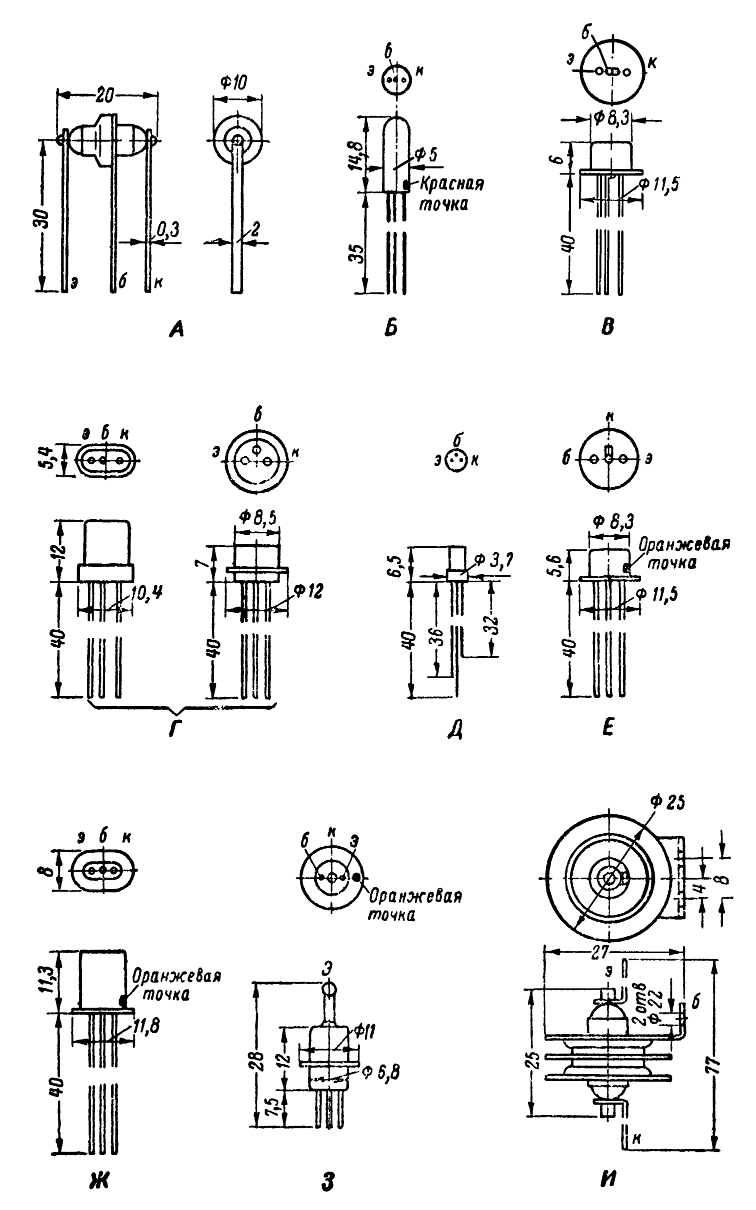
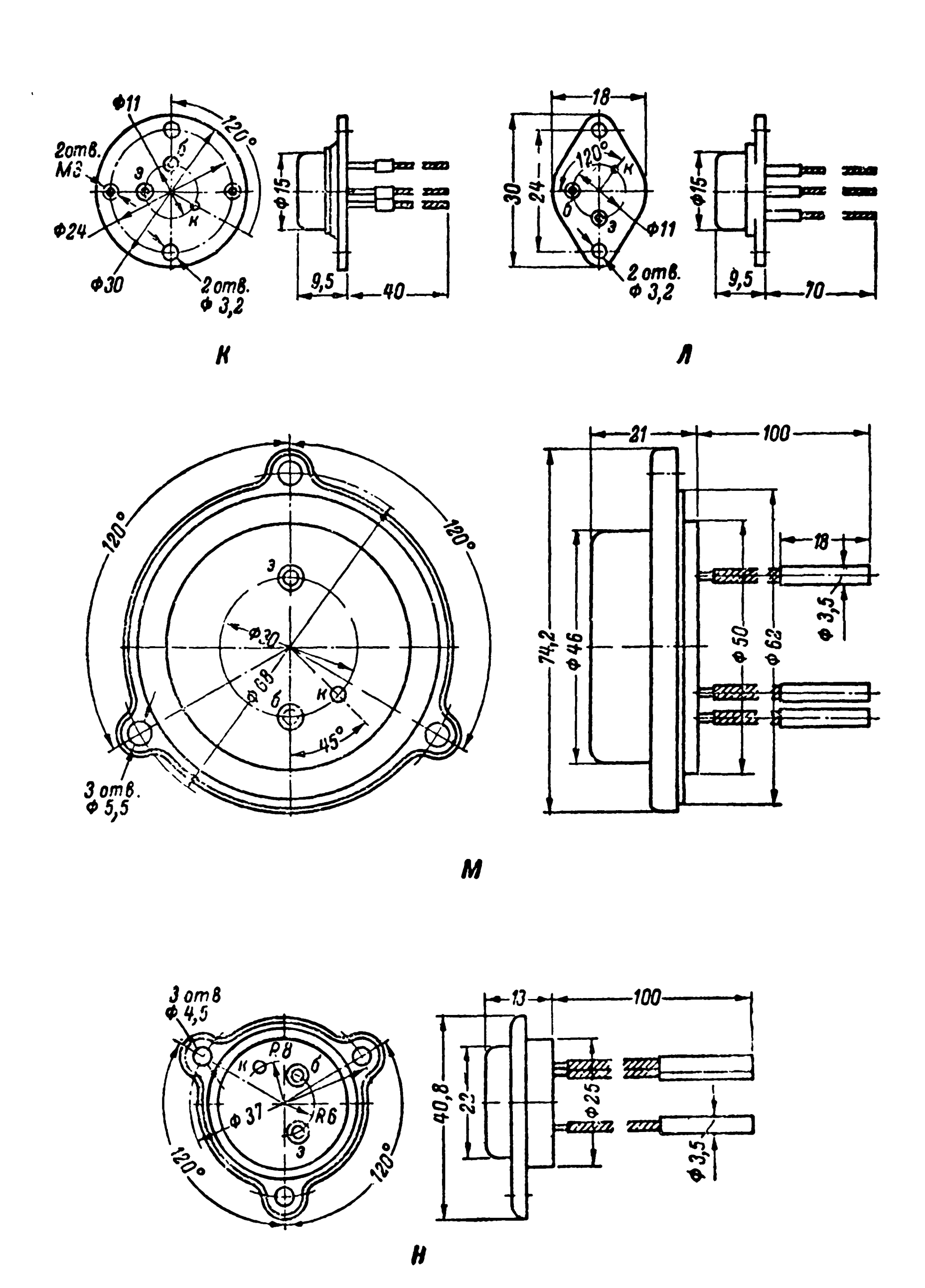


Рис. 10. Конструктивные чертежи и цоколевка



транзисторов (к табл. 4, 5, 6).

Таблица 7

Предельно допустимые режимы применения и тепловые характеристики транзисторов

Типы транзистора	$P_{доп}(T)$, *вт*	$P_{доп}(T_0)$, *вт*	$U_{к.доп}(T)$, *в*	$U^1_{к.э.доп}(T)$, *в*	$U_{э.доп}(T)$, *в*	$I_{к.доп}$, *ма*	$I_{к.имп}$, *ма*	$R_т$, °C/*вт*	$R_{т.о}$, °C/*вт*	$T^2_{к.доп}$, °C
П1А—И	0,05(30°)	—	—20(30°)	—	—	5	—	100	—	—60+70
П2А П2Б	0,25(25°)		—100(25°) —50(25°)	—	—	10 25	—	100	—	—60+50
П3А П3Б П3В	1(25°)	3,5(50°)	—50(25°)	—	—	150 250 450	—	10	—	—60+50
П4А П4Б П4В П4Г П4Д	2(25°)	30(30°)	—60(50°) —70(50°) —40(50°) —60(50°) —60(50°)	—50(50°) —60(50°) —35(50°) —50(50°) —50(50°)	—50(50°) —60(50°) —35(50°) —50(50°) —50(50°)	5 *а*	—	35	2	—60+90
П5А—Д	0,025(25°)	—	—20(50°)	—10(50°)	—20(50°)	10	—	1 000	—	—60+75
П6А—Д	0,15(25°)	—	—30(50°)	—10(50°)	—30(50°)	10	50	500	—	—60+100
П7	0,045(25°)	—	—13(50°)	—6,5(50°)	—	45	—	1 000	—	—60+75
П8—11	0,15(25°)	—	+20(50°)	+10(50°)	+20(50°)	10	50	500	—	—60+100

П12, 406, 407 П13—16 П19, 408, 409	0,03(70°) 0,15(25°) 0,03	— — —	—6(70°) —30(50°) —20(25°)	—6(50°) —15(50°) —6(50°)	—6(70°) —30(50°) —20(50°)	5 10 5	30 50 30	500 500 1 000	— — —	—60+85 —60+100 —60+90
П25, А, Б П26, А, Б	0,2(35°)	—	—60(25°) —100(25°)	—	—	—	400	200	—	—60+70
П101—103	0,15(75°)	—	+10[3](75°)	+10[3](75°)	—	20	—	500	—	—60+150
П104 П105 П106	0,15(75°)	—	—100(40°) —45(40°) —45(40°)	—60(40°) —30(40°) —15(40°)	—45(40°)	20	50	500	—	—60+150
П201—202 П203	1(50°)	10(65°)	—30(50°) —60(50°)	—22(50°) —30(50°)	—35(50°) —45(50°)	1,5 *а*	—	40	3,5	—60+100
П207, А П208, А	4(30°)	100(25°)	—45(25°) —65(25°)	—40(25°) —60(25°)	—20(25°) —30(25°)	25 *а*	—	14	0,6	—60+85
П209, А П210, А	1,5(25°)	60(25°)	—45(25°) —65(25°)	—40(25°) —60(25°)	—	12 *а*	—	23	1	—60+85
П401—403 П404—405 П410—411	0,1(35°) 0,01(35°) 0,1(25)	— — —	—20(35°) —5(35°) —8(25°)	—10(35°) —4,5(35) —6(25°)	—1(35°) —5(35°) —	10 5 20	— — —	500 5 000 600	— — —	—60+85 —60+85 —60+85

[1] Для транзисторов типов П4, П207—210 указано $U_{К\text{-}э.доп}$ при сопротивлении цепи базы не более 15 *ом* (П4), 5 *ом* (П207—208) и 10 *ом* (П209—210); для остальных типов—при отключенной базе.

[2] Для типов П2 и П3 указаны предельно допустимые температуры окружающего воздуха.

[3] Для типа П101 $U_{к.доп} = 20$ *в* (при $T \leqslant 75°$ С).

Таблица 8

Краткие справочные данные некоторых типов транзисторов зарубежных фирм

Тип	Класс	$P_к$, *мвт*	$U_{к. доп}$, *в*	$I_{к. доп}$, *ма*	$h_{21э}$	$f_α$, *Мгц*
CK721	*p-n-p*н.ч.	33	—22	10	40	0,8
CK722	*p-n-p*н.ч.	33	—22	10	>9	0,6
OC16	*p-n-p*н.ч., М	5 *вт*	—32	3*а*	—	—
OC30	*p-n-p*н.ч., М	1,5 *вт*	—32	1*а*	—	—
OC45	*p-n-p*в.ч.	100	—15	10	40	6,0
OC70	*p-n-p*н ч.	25	—30	10	30	0,5
OC71	*p-n-p*н.ч.	25	—30	10	50	0,5
OC72	*p-n-p*н.ч., П	170	—30	250	60	0,35
OC390	*p-n-p*в.ч.	50	—20	10	>20	>3
OC400	*p-n-p*в.ч.	50	—20	10	>20	>7
OC410	*p-n-p*в.ч.	50	—20	10	>20	>12
OC601	*p-n-p*н.ч.	50	—20	20	> 9	>0,25
OC602	*p-n-p*н.ч.	50	—20	20	35	>0,25
OC604	*p-n-p*н.ч.	50	—30	50	65	>0,7
OC604 Spez	*p-n-p*н.ч., П	300	—30	500	—	—
OC612	*p-n-p*в.ч.	50	—15	—	30	6
OC613	*p-n-p*в.ч.	50	—15	—	45	10
OD603	*p-n-p*н.ч., М	4 *вт*	—30	3*а*	—	—
OD604	*p-n-p*н.ч., М	1,5 *вт*	—27	2*а*	—	—
OD605	*p-n-p*н.ч., М	15 *вт*	—30	10*а*	—	—
904	*n-p-n*в.ч., Si	150	+30	25	24	5
904A	*n-p-n*в.ч., Si	150	+30	25	40	>8
905	*n-p-n*в.ч., Si	150	+30	25	50	6
951	*n-p-n*н.ч.,М Si	1 *вт*	+50	60	15	—
952	*n-p-n*н.ч.,М Si	1 *вт*	+80	50	15	—
953	*n-p-n*н.ч.,М Si	1 *вт*	+120	40	15	—
2N34	*p-n-p*н.ч., П	150	—40	100	40	0,6
2N35	*n-p-n*н.ч., П	150	+40	100	40	0,8
2N43A	*p-n-p*н.ч., П	240	—45	300	65	1,3
2N44	*p-n-p*н.ч., П	240	—45	300	43	1,3
2N78	*n-p-n*в.ч.	65	+15	20	135	9
2N94	*n-p-n*н.ч.	50	+20	50	80	2
2N102/13	*n-p-n*н.ч., М	20 *вт*	+30	1*а*	55	—
2N104	*p-n-p*н.ч.	150	—30	50	44	0,7
2N107	*p-n-p*н.ч., П	50	—10	100	20	1
2N109	*p-n-p*н.ч., П	50	—25	75	75	—
2N112A	*p-n-p*в.ч.	50	—10	8	>20	5
2N113	*p-n-p*в.ч.	50	—10	8	>20	10
2N114	*p-n-p*в.ч.	30	—6	5	>20	20
2N123	*p-n-p*в ч., П	150	—20	125	65	8
2N135	*p n-p*в.ч.	100	—20	50	20	4,5
2N136	*p-n-p*в.ч.	100	—20	50	40	6,5
2N170	*n-p-n*в.ч.	55	+10	20	32	5,0
2N176	*p-n-p*н.ч., М	10 *вт*	—40	3*а*	90	—

Тип	Класс	$P_к$, *мвт*	$U_{к.\ доп}$, *в*	$I_{к.\ доп}$, *ма*	$h_{21э}$	f_α, *Мгц*
2N188A	*p-n-p*н.ч., П	200	—25	200	54	1,2
2N193	*n-p-n*в.ч.	50	+15	50	15	3,5
2N207A	*p-n-p*н.ч.	50	—12	20	100	2
2N212	*n-p-n*в.ч.	50	+10	50	30	4
2N213A	*n-p-n*н.ч., П	150	+40	100	250	—
2N214	*n-p-n*н.ч., П	180	+40	100	100	0,8
2N226	*p-n-p*н.ч., П	250	—30	150	60	0,4
2N257	*p-n-p*н.ч., М	4 *вт*	—40	5*а*	50	—
2N307A	*p-n-p*н.ч., М	10 *вт*	—35	2*а*	21	0,4
2N338	*n-p-n*в.ч., Si	125	+40	20	100	20
2N371	*p-n-p*в.ч.	80	—24	10	60	30
2N384	*p-n-p*в.ч.	120	—40	10	60	100
2N406	*p-n-p*н.ч.	150	—20	35	35	0,65
2N425	*p-n-p*в.ч., П	150	—30	400	30	4
2N426	*p-n-p*в.ч., П	150	—30	400	40	6
2N428	*p-n-p*в.ч., П	150	—30	400	80	17
2N502A	*p-n-p*в.ч.	25	—20	—	45	500 ген.
2N503	*p-n-p*в.ч.	30	—20	50	65	100 усил.
2N650	*p-n-p*н.ч., П	200	—45	500	49	1,5
2N651	*p-n-p*н.ч., П	200	—45	500	80	2
2N652	*p-n-p*н.ч., П	200	—45	500	130	2,5
2N700	*p-n-p*в.ч.	75	—25	50	10	800
2N711	*p-n-p*в.ч.	300	—12	50	20	300
2N835	*n-p-n*в.ч., П	300	+25	200	40	450
2N1008	*p-n-p*н.ч., П	150	—40	300	85	0,5
2N1097	*p-n-p*н.ч., П	140	—16	100	55	2
2N1185	*p-n-p*н.ч., П	200	—45	500	300	3
2N1371	*p-n-p*н.ч., П	150	—45	150	100	2
2N1395	*p-n-p*в.ч.	120	—40	10	90	30
2N1397	*p-n-p*в.ч.	120	—40	10	90	120
2N1400	*p-n-p*в.ч.	50	—30	10	5 на 150 *Мгц*	
2N1401	*p-n-p*в.ч.	50	—30	10	5 на 100 *Мгц*	
2N1465	*p-n-p*н.ч., М	20 *вт*	—120	3*а*	40	—
2N2043A	*p-n-p*н.ч., П	200	—105	200	70	0,75
2N2081	*p-n-p*н.ч., М,П	170 *вт*	—50	15*а*	50	—

Примечание. М—мощный транзистор; П—переключающий транзистор; н.ч.—низкочастотный транзистор; в.ч.—высокочастотный транзистор.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 8 коп.